



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

TUANE DA SILVA CUNHA ALVES

**ESTUDO PARA AVALIAR AS CONDIÇÕES DE
IMPLEMENTAÇÃO DE COMPLEXO EÓLICO OFFSHORE
NO LITORAL DO RIO GRANDE DO SUL**

Porto Alegre

Março 2022

TUANE DA SILVA CUNHA ALVES

**ESTUDO PARA AVALIAR AS CONDIÇÕES DE IMPLEMENTAÇÃO DE
COMPLEXO EÓLICO OFFSHORE NO LITORAL DO RIO GRANDE DO SUL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO APRESENTADO
AO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO
DO TÍTULO DE ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Orientador: Alexandre Beluco

Porto Alegre

Março 2022

CIP - Catalogação na Publicação

Alves, Tuane da Silva Cunha
ESTUDO PARA AVALIAR AS CONDIÇÕES DE IMPLEMENTAÇÃO
DE COMPLEXO EÓLICO OFFSHORE NO LITORAL DO RIO GRANDE
DO SUL / Tuane da Silva Cunha Alves. -- 2023.
53 f.
Orientador: Alexandre Beluco.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Pesquisas Hidráulicas, Curso de Engenharia
Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2023.

1. Energia eólica offshore. 2. Vento. 3. Energia
Renovável. 4. RS. I. Beluco, Alexandre, orient. II.
Título.

TUANE DA SILVA CUNHA ALVES

**ESTUDO PARA AVALIAR AS CONDIÇÕES DE IMPLEMENTAÇÃO DE
COMPLEXO EÓLICO OFFSHORE NO LITORAL DO RIO GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul defendido e aprovado em **04/04/2023** pela Comissão avaliadora constituída pelos professores:

Banca Examinadora:

.....

Prof. Dr. Alexandre Beluco

.....

Prof. Dr. Alfonso Rizzo – Departamento de Obras Hidráulicas

.....

Prof. Dr. Elton Gimenez Rossini – Departamento de Energia - UERGS

Conceito:

Dedico este trabalho à minha mãe Gissele e meus avós,
Renato e Lindamar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente a minha avó Lindamar que não pode ter acesso aos estudos e desde nova teve que trabalhar. Eu gostaria muito que pudesse participar deste momento tão especial da minha vida. Mas sei que, onde quer esteja verá minha conquista.

Agradeço à minha mãe que sempre esteve ao meu lado, mesmo quando eu estava em meus momentos de estresse, cansaço e muitas vezes irritada.

Agradeço à minha melhor amiga Nilana e minha prima Nicole que sempre se mostraram presentes nesta jornada.

Agradeço também aos meus amigos que fiz na faculdade e que hoje levo para vida, serei grata eternamente pelo apoio, conversas e desabafos.

Agradeço ao apoio das profissionais incríveis que escutaram atentamente as minhas histórias, principalmente envolvendo a faculdade e mostraram – me ferramentas para auxiliar nos meus momentos de ansiedade. Obrigada Cristina Rangel e Cleide Fagundes.

Agradeço ao Alberto e Mauricio da empresa SOLUTE por disponibilizar o software Furow para que fosse possível realizar este trabalho.

Agradeço ao meu orientador Alexandre Beluco por contribuir com seu conhecimento e sempre sendo atencioso nos momentos em que eu precisei.

“Se você tem um sonho, tem que correr atrás dele. As pessoas às vezes não conseguem vencer na vida e dizem que você também não irá vencer. Se você quer alguma coisa, corra atrás, ponto”.

À Procura de Felicidade

RESUMO

Alves, Tuane da Silva Cunha Estudo para avaliar as condições de implementação de Complexo Eólico Offshore no Litoral do Rio Grande do Sul. 2023. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas e Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

O cenário atual do mundo necessita da busca por meios e alternativas com produção de energias renováveis e com baixo impacto ambiental. Com base nestas questões, este estudo propõe – se a compreender o potencial do vento no litoral do Rio Grande do Sul, analisando o comportamento do vento e simulando a implementação de um complexo eólico offshore e sua potência gerada. Para o estudo, foram utilizados dados de séries de ventos à 100 m de altura, obtidos pelo banco de dados ERA5, para um período de quatro anos. Em seguida os dados foram utilizados no software Furow, o qual permite realizar o dimensionamento do complexo eólico, além de fornecer a análise detalhada do vento na região, assim como outros dados relevantes para verificar a disponibilidade do local. O estudo avaliou uma área a 80 km da costa, com 10 km de comprimento e 15 km de extensão, apresentando uma área total de 150 km². Para a simulação do potencial gerado pelo parque eólico, foram utilizados ao todo 77 aerogeradores. O resultado é um parque eólico offshore com área de 150 km² com um total de 171,66 MW a serem inseridos no sistema interligado.

Palavras-chave: energia eólica offshore, vento, energia renovável, RS.

ABSTRACT

The current scenario in the world requires the search for means and alternatives with the production of renewable energy and with low environmental impact. Based on these questions, this study proposes to understand the wind potential on the coast of Rio Grande do Sul, analyzing the behavior of the wind and simulating the implementation of an offshore wind complex and its generated power. For the study, data from series of winds at a height of 100 m were used, obtained from the ERA5 database, for a period of four years. Then, the data were used in the Furow software, which allows for the sizing of the wind complex, in addition to providing a detailed analysis of the wind in the region, as well as other relevant data to verify the availability of the site. The study evaluated an area 80 km from the coast, 10 km long and 15 km long, with a total area of 150 km². For the simulation of the potential generated by the wind farm, a total of 77 wind turbines were used. The result is an offshore wind farm with an area of 150 km² with a total of 171,66 MW to be inserted in the interconnected system.

Keywords: offshore wind energy, offshore wind complex, wind, renewable energy, RS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz Energética Mundial (2020).	Erro! Indicador não definido.
Figura 2 - Matriz Energética Brasileira.	Erro! Indicador não definido.
Figura 3 - Novas Instalações Offshore.	21
Figura 4 - Potencial Eólico Brasileiro (2001).....	22
Figura 5 - – Potencial Eólico Brasileiro no mar para altura de 100 metros.	23
Figura 6 – Empreendimento em processos licenciatórios (a) Região Norte, (b) Região Sudeste e (c) Região Sul.	24
Figura 7 – Limites Marítimos do BR.	25
Figura 8 – Velocidade dos ventos offshore no RS.	27
Figura 9 – Complexos Eólicos Offshore em processo licenciatório no RS.	28
Figura 10 – Etapas de cálculo ferramenta Furow.	33
Figura 11 – Dunas que ligam os municípios de Tramandaí e Cidreira.	34
Figura 12 – Extensão da área de estudo vista em terra, 15 Km em direção a Tramandaí.	34
Figura 13 – Localização do ponto de análise dos ventos.	35
Figura 14 – Área total de estudos.	35
Figura 15 – Localização do Parque Eólico de Tramandaí e via de acesso RS-786.	36
Figura 16 – Rotas de Barcos e Navios.....	36
Figura 17 – Interface Furow para seleção dos dados de reanálise.....	37
Figura 18 – Turbina Gamesa 128 5 MW Classe IB Offshore.	38
Figura 19 – Perfil Diurno do Vento para 100 metros.	40
Figura 20 – Perfil Anual do Vento para altura de 100 metros.....	41
Figura 21 – Frequência anual.	42
Figura 22 – Distribuição trimestral da frequência para altura de 100 metros.	43
Figura 23 – Direção do vento a partir da velocidade e da frequência.	44
Figura 24 – Direção do vento anual a 100 metros.....	44
Figura 25 - Curva de potência para turbina Gamesa 128 5MW Clase IB na área estudada.....	45
Figura 26 – Área do Parque.....	46
Figura 27 – Perdas por esteiras do Parque Eólico.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Dados de reanálise de clima ERA5.	37
Tabela 2 - Especificações da turbina Gamesa 128 5 MW Classe IB Offshore.	38
Tabela 3 - Valores atribuídos e calculados pela ferramenta.	39
Tabela 4 - Estimativa de produção para o Complexo Eólico Offshore.	48

LISTA DE SIGLAS

COMGRAD-AMB: Comissão de Graduação da Engenharia Ambiental

IPH: Instituto de Pesquisas Hidráulicas

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

EPE: Empresa de Pesquisa Energética

EWEA: European Wind Energy Association

GEE: Gases do Efeito Estufa

COP: Conferências das Partes

CEOs: Complexo Eólicos Offshore

GWE: Global Wind Energy

CRESESP: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica

RS: Rio Grande do Sul

ZEE: Zona Econômica Exclusiva

WSM: Wind Sector Management

TR: Termo de Referência

RAS: Relatório de Ambiental Simplificado

IBAMA: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

LISTA DE SÍMBOLOS

f = Frequência de Weibull

v = Velocidade média (m/s)

k = Parâmetro de forma

a = Parâmetro de escala

m = metros

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
2 OBJETIVOS.....	17
2.1 Objetivo Geral.....	17
2.2 Objetivos Específicos.....	17
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
3.1 Energia Eólica.....	18
3.1.1 Energia Eólica Offshore no Mundo.....	20
3.1.2 Energia Eólica no Brasil.....	21
3.1.3 Território Oceânico no Brasil.....	24
3.2 Energia Eólica Offshore no Rio Grande do Sul.....	25
3.2.1 Potencia Eólico.....	25
3.2.2 Potencial Eólico Offshore.....	26
3.3 Avaliações de Impactos Ambientais.....	28
4 METODOLOGIA.....	32
4.1 Sobre a ferramenta Furow.....	32
4.2 Área de Estudo.....	33
4.3 Análise do Vento.....	37
4.4 Seleção da Turbina.....	38
4.5 Recurso Eólico.....	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
5.1 Velocidade do Vento.....	39
5.2 Frequência.....	41
5.3 Direções do Vento.....	43
5.4 Implantação do Parque.....	45
5.4.1 Arogerador.....	45
5.4.2 Layout do Complexo Eólico Offshore.....	46
5.5 Avaliação do Rendimento Energético.....	47
5.5.1 Perdas de Energia.....	47
5.5.2 Produção de Energia Anual.....	47
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	48

7 REFERÊNCIAS	50
---------------------	----

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda pela produção energética, a preocupação com o meio ambiente, o consumo exagerado e o aumento desenfreado da população trouxe consigo o interesse de investimentos em fontes de energias renováveis e com menores impactos ambientais.

A dependência por fontes não renováveis apresentou grandes consequências, principalmente negativas quando relacionadas às questões climáticas. As mudanças nos regimes das chuvas, o aumento da temperatura global, o aumento dos níveis dos oceanos, devido ao derretimento das geleiras e as emissões de gases do efeito estufa, são alguns resultados devido à dependência vinda dos combustíveis fósseis. (DRIEMEIER, 2014).

A partir destas problemáticas o interesse de reduzir os impactos ambientais negativos, mas também, visando o abastecimento energético, os países desenvolvidos a partir de políticas para o setor energético, atribuíram o nome deste processo de transição energética (IPEA, 2019).

O Brasil apesar de sua matriz energética principal ser 34,4% provinda do petróleo e seus derivados (EPE, 2021), apresenta grande potencial para explorar fontes de energia com baixa impacto ambiental e renováveis, exemplo disso é o grande potencial hidrelétrico. No entanto, outras fontes estão sendo utilizadas e até mesmo complementadas. O setor energético do país tem ganhado força com a utilização de dessas energias, como solar, eólica, bioenergia e entre outras.

Dentre estas fontes uma delas já esta sendo utilizada há muitos anos no mundo, a energia eólica. O mercado eólico vem crescendo e ganhando destaque, não só para energia eólica em terra (*onshore*), como também no mar (*offshore*). Este tipo de empreendimento já está instalado em alguns países da Europa e Estados Unidos. No Brasil, esta tecnologia offshore está em estudo e conforme alguns dados a costa brasileira pode apresentar um potencial de até 679 GW (EPE, 2020).

O Rio Grande do Sul, não está longe de atingir este cenário de utilização de fontes limpas e renováveis, tanto que, já apresenta a utilização de painéis solares e instalações de parques eólicos onshore. O Estado possui grande potencial eólico e está em estudo sob órgão competente projetos para a instalação de parques eólicos ao longo da costa gaúcha.

Compreender o potencial eólico gerado pode além de suprir uma parte da demanda energética de um determinado local, como também ser feita a sua distribuição até mesmo para outros países.

Visto este cenário que irá crescer para o Estado do Rio Grande do Sul o presente trabalho visa estudar a avaliação das condições de implementação de um parque eólico offshore, através da análise do comportamento do vento, da simulação do complexo eólico offshore e da verificação do potencial eólico gerado na região estudada.

2 OBJETIVOS

A seguir são apresentados os objetivos gerais e específicos deste trabalho.

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar as condições dos ventos, numa área do litoral norte do Rio Grande do Sul, para fornecer uma estimativa de viabilidade técnica na implantação de um parque eólico offshore.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos foram elencados por tópicos, como seguem:

- Abordar os conhecimentos a respeito da energia eólica offshore no mundo, no Brasil e no Rio Grande do Sul, assim como seus possíveis impactos ambientais e da legislação vigente acerca desses empreendimentos.
- Avaliar o comportamento do vento na região de estudos. Compreender seu perfil ao longo do dia, seu desempenho anual, sua frequência e direção ao longo do ano.

- Simular a implementação de um parque eólico na área de estudo a fim de avaliar seu rendimento energético.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo foi revisado o contexto histórico da energia eólica desde sua criação até os dias atuais. Ao longo da revisão analisou – se o contexto histórico da energia eólica, a importância das energias renováveis, adentrando em seguida para energia eólica offshore no mundo, no Brasil e no Estado do Rio Grande do Sul, assim como fazendo uma breve observação sobre o vento no Estado e seu potencial offshore.

3.1 Energia Eólica

Para compreender melhor o que é energia eólica é necessário entender o comportamento do ar. Este que, sob altas pressões ao se movimentar para zonas de baixa pressão ganha velocidade. Contudo, existem alguns fatores que influenciam o surgimento do vento (EWEA, 2022). Segundo Pereira (2012) esses fatores são a incidência de radiação solar no globo que influenciam nas variações dessas pressões, a irregularidade do terreno e a rotação da Terra.

A energia eólica surge a partir da utilização de aerogeradores, estes convertem a energia cinética, que surgem dos movimentos das massas de ar, de translação para rotação, gerando assim energia elétrica (PEREIRA, 2012).

Considerada uma fonte energética limpa a energia eólica tem apresentado um grande crescimento pelo mundo, principalmente quando o assunto esta relacionado às metas climáticas, devido ao fato de apresentar características como a não emissão de gases do efeito estufa nem poluentes atmosféricos e também, pouca utilização de água para a sua geração. Além disso, sua disponibilidade esta relaciona a um recurso natural e renovável, evitando com isso a utilização de combustíveis fósseis (EWEA, 2022). Entretanto, sua história é antiga e teve seus primeiros registros em meados de 200 A.C na Pérsia, utilizando os moinhos para moagem de grãos e bombeamento, em 1700 A.C no Império Babilônico e 2000 A.C na China (DUTRA, 2007).

Por volta do século XII, países como Inglaterra, França e Holanda começaram utilizar moinhos de vento de eixo horizontal. Mas, no final do século XIX que surgiu o primeiro aerogerador, feito por Charles F. Brush, que o projetou com a intenção de gerar energia elétrica. O aerogerador era pequeno e fornecia apenas 12 kW em corrente contínua, servindo para carregar baterias, as quais eram para fornecer energia para lâmpadas incandescentes. O sistema de Brush para a época era inovador, durou por 20 anos, indo até 1908 quando fora desativado (DUTRA, 2008).

O pioneiro dos aerogeradores de médio e grande porte da época foram os Estados Unidos, que tinha como objetivo economizar combustíveis fósseis. Entretanto, no final da Segunda Guerra, os combustíveis fósseis tiveram um forte retorno em relação a sua utilização, fazendo com que após estudos econômicos fosse verificado que o aerogerador produzido pelos Estados Unidos não fosse mais interessante para as demandas da época, devido à alta em relação ao petróleo e as hidrelétricas. Isso fez com que surgissem as parcerias com Universidades para desenvolver novas tecnologias para produção de energia. Nesta época outros países como França, Alemanha e Inglaterra demonstraram grande potencial, tanto para pesquisa como para produção de aerogeradores. A Dinamarca, por sua vez, foi o país que mais cresceu em energia eólica e, sendo o primeiro a produzir um aerogerador de grande porte e também, o primeiro a fazer o fornecimento de energia para a rede elétrica (DUTRA, 2008).

Atualmente a energia eólica tem ganhado grande espaço nos assuntos relacionados às energias renováveis, principalmente ligados à transição energética. Abordar esta temática significa buscar a transformação da matriz energética. Sabe – se que, no mundo a utilização de fontes fósseis é uns dos maiores problemas, principalmente pela grande emissão de gases do efeito estufa - GEE , originados devido a queima dos produtos advindos dessas fontes Essa busca pela diminuição da emissão desses poluentes, fez com que muitos países começassem a avaliar a utilização dessas fontes não renováveis Com isso, visando um futuro mais sustentável, a transição energética apresenta um pilar que é conhecido como os 3Ds – descarbonização, descentralização e a digitalização. A Descarbonização está relacionada com as emissões de carbono, a Descentralização na geração de energia próxima ao consumidor e a Digitalização significa transformação digital, tanto de documentos, quanto de atividades e serviços (EPE, 2022).

Como fontes renováveis pode – se citar a energia solar, bioenergética, hidráulica, nuclear e a eólica, a qual será o assunto principal deste trabalho. Por isso, as fontes renováveis

estão em alta, principalmente nas relações entre os países como forma de diminuição dos impactos ambientais, um deste exemplo é a COP -27 que ocorreu em 2022 e teve como objetivo debater sobre o cumprimento das regras estabelecidas no Acordo de Paris, o uso de fontes renováveis de energia e a descarbonização.

A energia eólica a qual tem ganhado grande destaque nos principais assuntos sobre fontes renováveis pode ser realizada de duas formas, onshore (em terra) ou offshore (em mar), a qual é a base deste trabalho e será apresentada nos próximos tópicos.

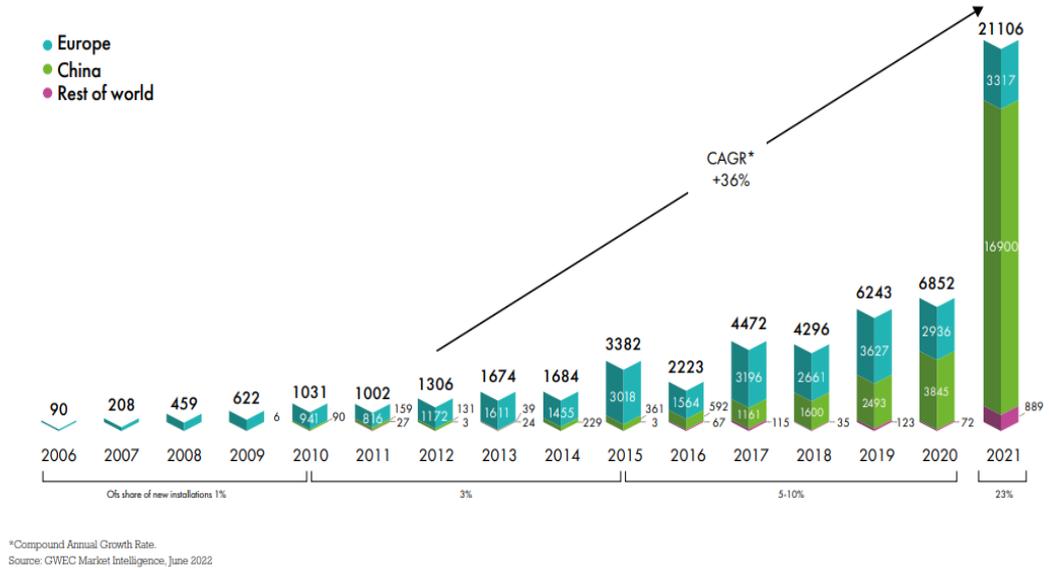
Para a instalação de um projeto de parques eólicos é necessário à utilização de turbinas eólicas, pois estas transformam a energia cinética, que é gerada pela força dos ventos, em energia mecânica. Esta energia rotaciona as pás, fazendo com que acione um gerador elétrico.

3.1.1 Energia Eólica Offshore no Mundo

A história da energia eólica offshore teve seu início na década de 90 e devido à tecnologia adquirida na época alguns países do norte da Europa tiveram seus primeiros projetos. A Alemanha entre os anos de 2008 e 2009 construiu o primeiro parque eólico, este continha 12 turbinas e chegava a uma potência de 5 MW para cada turbina (GWEC, 2022). Atualmente, a China lidera o ranking como país com maior produção de instalações de eólicas offshore, gerando em 2021 um total de aproximadamente 17 GW.

Segundo o GWEC, o ano de 2021 teve a maior potência de energia eólica offshore conectada à rede no mundo, cerca de 21,1 GW. A Figura 3 apresenta uma comparação dos dados de instalação de 2006 até 2021. É possível verificar que, é notório o aumento significativo das instalações offshore para 2021, não somente para a China e Europa, mas para o restante do mundo.

Figura 1 - Novas Instalações Offshore.

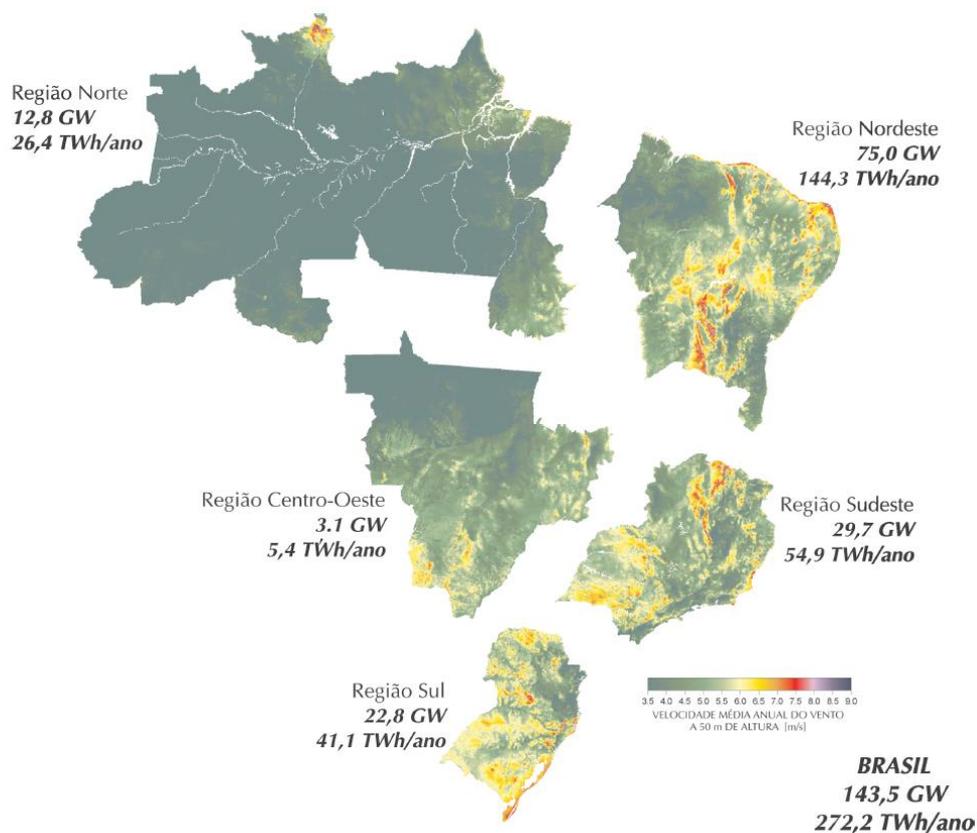


Fonte: GWEC.

3.1.2 Energia Eólica no Brasil

O Brasil nos últimos anos tem apresentado um crescimento na sua demanda energética. A partir dos dados coletados e apresentados no Atlas Eólico Brasileiro (2001) o Brasil apresentou um potencial de instalação de 143,5 GW com ventos de aproximadamente 7 m/s para torres com alturas de 50 m . A Figura 4 mostra detalhadamente como está distribuído o potencial de instalação eólico brasileiro. Verifica – se que, a região Nordeste apresentou um potencial de 75,0 GW com uma estimativa de energia anual de 144,3 TWh/ano, seguido da região Sudeste com 29,7 GW de potencial e 54,9 TWh/ano de energia estimada anual, o Norte 12,8 GW 26,4 TWh/ano, já o Rio Grande do Sul apresentou uma potencia de 22,8 GW com estimativa de 41,1 TWh/ano e por último o Centro – Oeste com 3,1 GW e 5,4 TWh/ano.

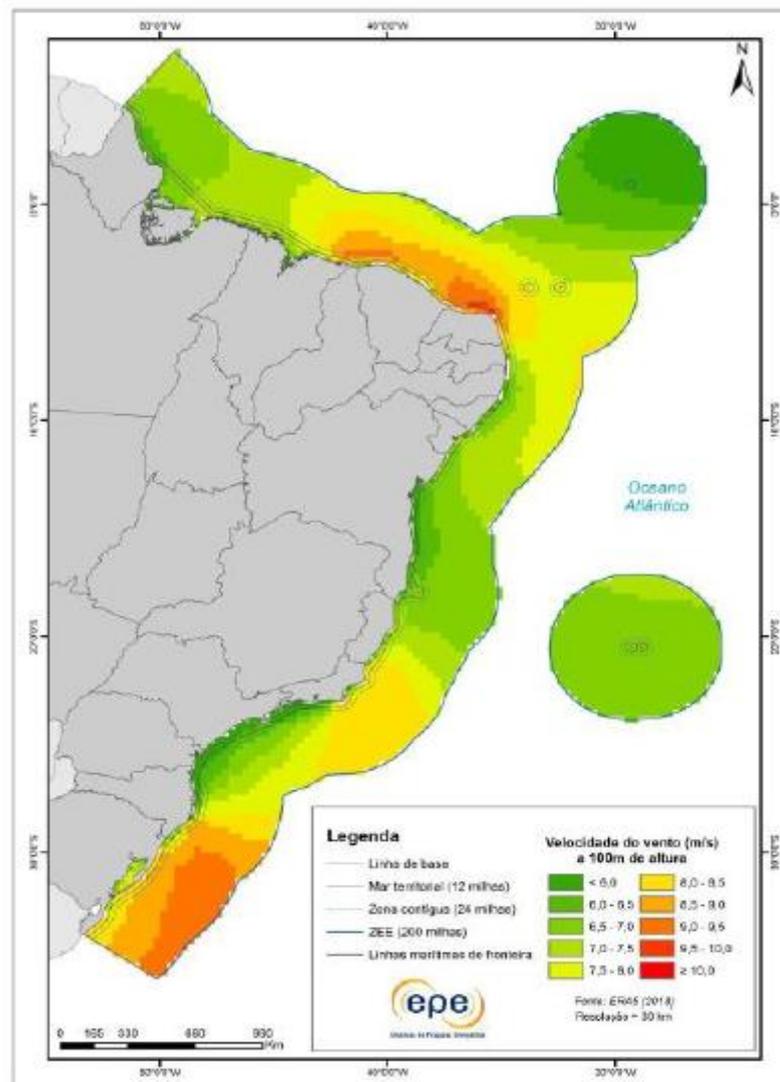
Figura 2 - Potencial Eólico Brasileiro (2001).



Fonte: CRESESP (2001).

Contudo, estes dados são de 2001 e foram analisados conforme tecnologia da época. Atualmente, pode – se identificar as velocidades dos ventos em alturas de até 200 m. Salienta – se que, o potencial brasileiro é maior que o valor apresentado pelo Atlas, devido a variáveis apresentadas na época (EPE, 2018). A EPE em 2020 através do *Roadmap* realizou a análise do potencial eólico do mar, utilizando a base de dados ERA 5. Os estudos foram realizados para uma altura de 100 m para toda Zona Econômica Exclusiva (ZEE). Observa – se, grande potencial de ventos para todo o litoral brasileiro, contudo as regiões do Sul, Sudeste e Nordeste apresentam velocidades mínimas de 8 m/s chegando à máximas de 9 a 9,5 m/s, Figura 5.

Figura 3 - Potencial Eólico Brasileiro no mar para altura de 100 m.



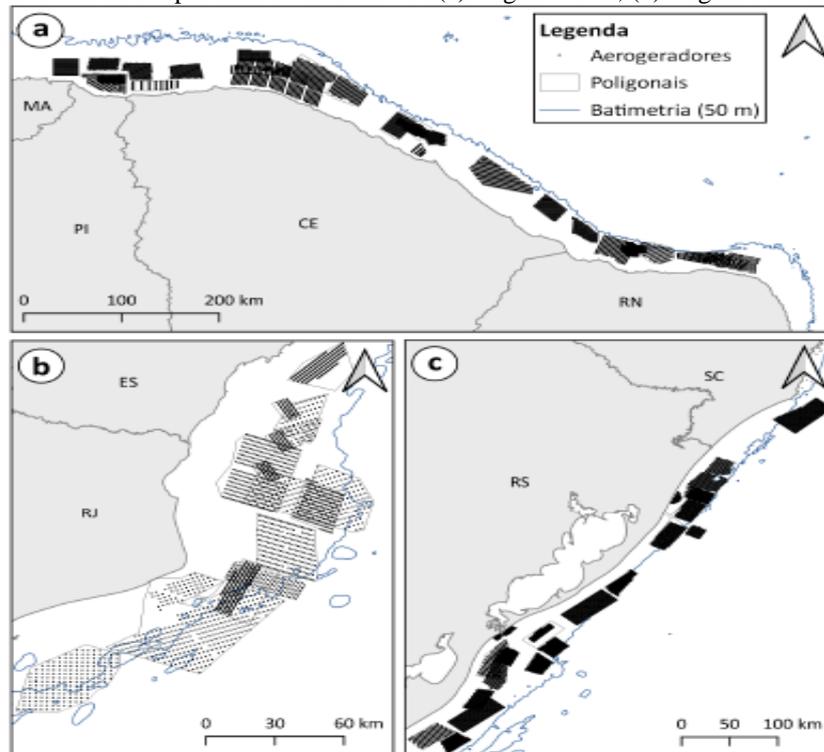
Fonte: Adaptado por Xavier (2022).

Para a geração de energia offshore o Brasil apresenta bons ventos com uma média que varia entre 7 m/s a 12 m/s (ORTIZ e KAMPEL, 2011). Segundo dados da EPE (2020) para a costa brasileira o potencial energético para alturas de até 200 m e velocidades médias anuais de 7 m/s pode – se alcançar uma ordem de até 679 GW. O setor energético/eólico obteve grandes avanços, pois, recentemente houve a aprovação do Projeto de Lei (PL) 576/2021 que regulamenta a autorização para aproveitamento do potencial energético offshore, assim como em 2020, o termo de referência para a elaboração de EIA/RIMA para parques eólicos offshore e em 2022 o Decreto 10.946/2022 que:

“Dispõe sobre a cessão de uso de espaços físicos e o aproveitamento dos recursos naturais em águas interiores de domínio da União, no mar territorial, na zona econômica exclusiva e na plataforma continental para a geração de energia elétrica a partir de empreendimento offshore”.

O IBAMA é o órgão responsável por este tipo de atividade e conforme documento publicado em dezembro de 2022 já estão em andamentos os processos licenciatórios, ao todo são 70 projetos que estão em licenciamento prévio ao longo de toda a costa brasileira, Figura 6.

Figura 4 – Empreendimento em processos licenciatórios (a) Região Norte, (b) Região Sudeste e (c) Região Sul.



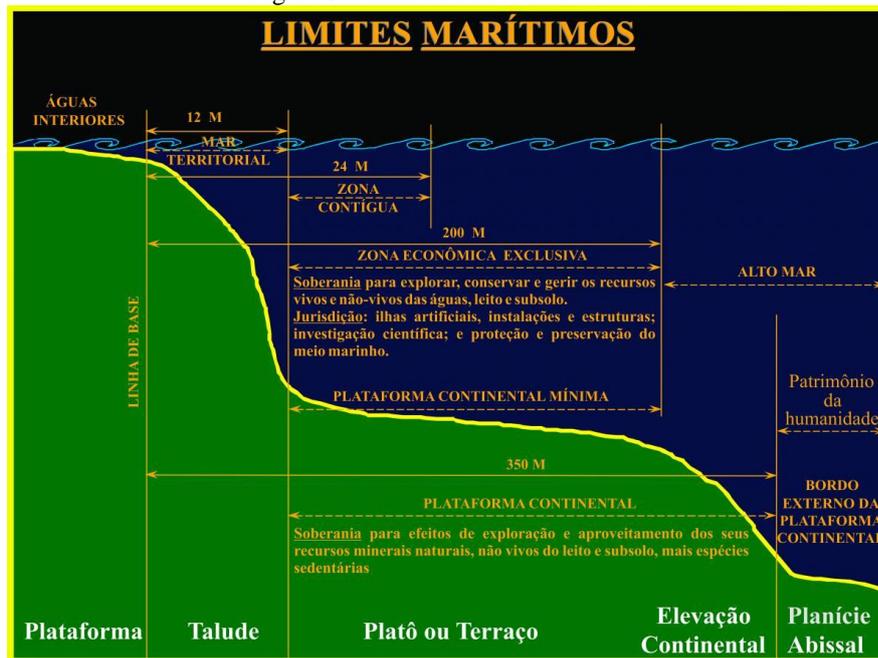
Fonte: Bugoni et al (2022).

3.1.3 Território Oceânico no Brasil

O território oceânico brasileiro é dividido em 4 dimensões, são elas o mar territorial que apresenta até 22 km (12 milhas náuticas) da costa e é de total posse do país, ou seja, tudo o que está relacionado à recursos naturais e trânsito de embarcações. Em seguida há a zona contígua, que abrange as 12 milhas náuticas do mar territorial e mais 12 milhas (22km) como

forma de evitar ou impedir que ocorram situações adversas aos regulamentos impostos para a zona territorial ou mar territorial. Após, há a Zona Econômica Exclusiva que se encontra de 12 a 200 milhas náuticas (370 km). Neste limite, o Brasil tem direito em todos os recursos e a navegação é livre e por último há a extensão da plataforma continental, a qual amplia o limite da ZEE para 64 km a mais, é conhecida como Amazônia Azul. A Fugira 7, demonstra como é dividida a zona oceânica.

Figura 5 – Limites Marítimos do BR.



Fonte: Marinha do Brasil.

3.2 Energia Eólica Offshore no Rio Grande do Sul

3.2.1 Potencia Eólico

O Rio Grande do Sul é um Estado que abrange cenários divergentes quando trata – se dos ventos que o predominam. Apresenta grande influência dos sistemas de mesoescala ou regionais, vindos do Baixo do Chago e da Baixa do Nordeste Argentino, além de ser uma região que ocorre uma zona de transição, a qual é composta por dois sistemas: os intertropicais, conhecido por ter massas tropicais e os extratropicais que apresentam frentes e

massas advindas do polo Sul. Além disso, o Estado apresenta alguns fenômenos como o La Niña, El Niño, o Anticiclone Tropical do Atlântico Sul e o Vento Minuano ou também conhecido como pampeiro. Estes fenômenos estão fortemente ligados às variações climáticas que ocorrem no Estado, tornando – se um clima único e dinâmico, tendo sua relação diretamente com a energia atmosférica e a densidade atmosférica (ATLAS EÓLICO DO RIO GRANDE DO SUL, 2014).

Para compreender o potencial eólico de um local, é necessário conhecer variáveis importantes, como: as massas de ar, a rugosidade, a sazonalidade e o relevo. Segundo o Atlas do Rio Grande do Sul (2014), considera – se também, em relação às massas de ar, sua direção e a intensidade, sendo necessário observa – las conforme seus regimes horários, interanuais, mensais e sazonais. Dados estes que podem ser coletados através de torres anemométricas que são instaladas em pontos estratégicos com alturas que podem varia entre 25 a 100 metros. Após coletados, os dados são calculados em softwares apropriados que determinam variáveis de interesse para estudos e projetos (DRIEMEIER, 2014).

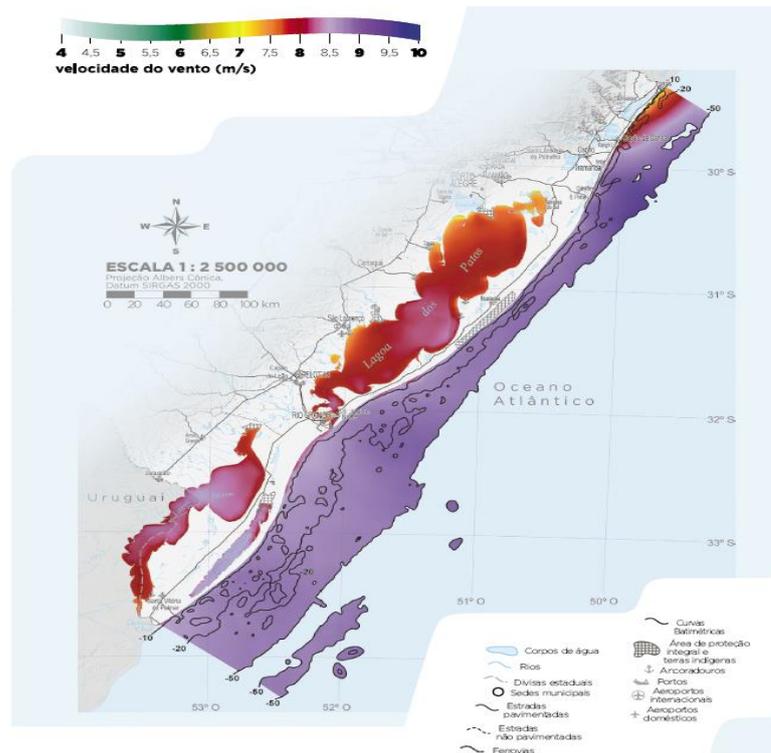
Conforme Driemeier (2014), o Atlas apresenta o resultado de dados coletados mensalmente para o Estado e conclui que as maiores velocidades dos ventos estão presentes entre os meses de julho a dezembro, os quais estão dentro do segundo semestre do ano, ventos esses que estão em três localidades: Campanha, Litoral e Serra. A Campanha e o litoral apresentam uma diferença em relação a Serra, pois identifica - se velocidades maiores também em alguns meses do primeiro semestre.

O Rio Grande do Sul apresenta grande potencial eólico, podendo gerar até 102,3 GW para uma altura de até 100 metros e para alturas superiores de até 150 metros, um potencial de 245,3 GW, conforme dados da empresa Eletrosul (BIAVATI, 2017).

3.2.2 Potencial Eólico Offshore

O Atlas Eólico ainda apresenta a capacidade dos ventos offshore no Estado, Figura 8. Os ventos na parte litorânea podem alcançar velocidades de até 10 m/s.

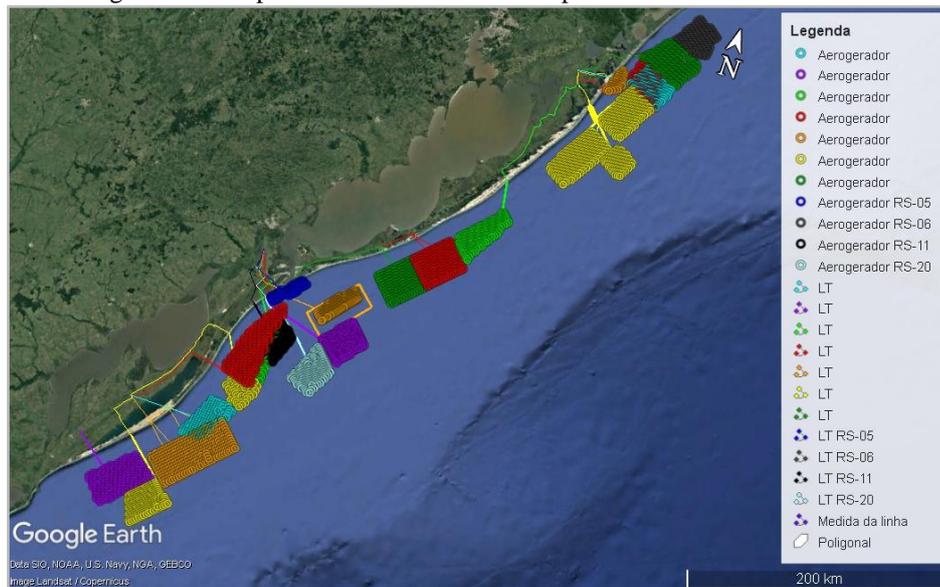
Figura 6 – Velocidade dos ventos offshore no RS.



Fonte: Atlas Eólico do Rio Grande do Sul (2014).

O RS assim como outros locais litorâneos do Brasil apresenta ventos favoráveis para desenvolver complexos eólicos offshore. Conforme dados do IBAMA (2022), é possível analisar (Figura 9) os pontos em que estão em andamento os processos licenciatórios no Estado. Os complexos se estendem desde Barra do Chuí até praia do Paraíso em Torres

Figura 7 – Complexos Eólicos Offshore em processo licenciatório no RS.



Fonte: Adaptada do IBAMA (2022).

3.3 Avaliações de Impactos Ambientais

Independente do tipo de atividade é necessário considerar possíveis impactos ambientais, isto ocorre também para os Complexos Eólicos Offshore - CEOs, pois mesmo vindo de uma fonte renovável e causando impactos mínimos, os mesmos devem ser considerados, avaliados e mitigados (PINTO; MARTINS e PEREIRA, 2017).

Segundo a CONAMA N°01/1986 Impacto Ambiental é:

“qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II - as atividades sociais e econômicas;

III - a biota;

IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente”.

V - a qualidade dos recursos ambientais (BRASIL,1986).

Neste contexto a legislação também informa e vale salientar que é de suma importância compreender que os impactos ambientais têm suas esferas positivas e negativas, que podem ser diretos e indiretos, imediatos e a médio e longo prazo, temporários e permanentes; podendo ter graus de reversibilidade; propriedades cumulativas e sinérgicas; ter uma distribuição dos ônus e benefícios sociais.

Para compreender os impactos ambientais de uma atividade licenciada por órgão competente, que neste caso é de competência do IBAMA, é essencial que, primeiramente seja realizado, principalmente para atividades que possam causar um significativo impacto para o meio ambiente, o Estudo de Impacto Ambiental e o Relatório de Impactos Ambientais (EIA/RIMA). Entretanto, o órgão ambiental caso ache necessário e conforme CONAMA n° 279/2001, Art. 1º, item III: *Sistemas de transmissão de energia elétrica (linhas de transmissão e subestações)*, solicitar que seja apresentado o relatório ambiental simplificado (RAS) para impactos ambientais pequenos.

O IBAMA em 2020 colocou em vigor o Termo de Referência (TR) o qual orienta a partir de diretrizes e normas técnicas a elaboração do EIA/RIMA.

A seguir foram apresentados os possíveis impactos ambientais positivos e negativos causados pelas atividades eólicas offshore em suas fases de implantação, operação, manutenção e descomissionamento, conforme apresentado por algumas literaturas estudadas.

- **Impactos Sonoros**

O movimento das pás podem ocasionar ruídos, estes podem ser mecânicos, causados pelas caixas de engrenagens e geradores, bem como, aerodinâmicos provindos das pás, por consequência do atrito com o vento. Hoje em dia, os aerogeradores modernos tem praticamente eliminado o ruído acústico através do isolamento acústico da nacelle (estrutura onde o gerador fica localizado), portanto o ruído aerodinâmico é o maior contribuinte. Segundo o termo de referência os ruídos também podem ser subaquáticos devido às vibrações ocasionadas pelo vento nos aerogeradores. Este ruído pode causar a perda de audição de espécies mais sensíveis, bem como interromper a comunicação entre os mamíferos (ABRAMIC; PENIN; HAROUN, 2022). As vibrações das estruturas podem causar o deslocamento dos habitats, afetando mamíferos, aves, peixes e espécies bentônicas. Para Guimarães (2020) os ruídos podem ser considerados um impacto que acontece já no primeiro momento, ou seja, na instalação, pois também considera – se neste cenário as instalações dos cabos, a dragagem e as perfurações, caso sejam realizadas.

- **Impactos Morfológicos e Hidrodinâmicos**

Considerado no momento da instalação, os impactos morfológicos acontecem devido à instalação dos aerogeradores e dos cabos, ocasionando a alteração na morfologia do substrato marinho e também, possibilitando os processos erosão. Já os impactos hidrodinâmicos podem ser ocasionados devidos a difração/reflexão em função da presença do aerogerador, o movimento das massas de ar em torno do complexo, sendo ele no interior ou à barlavento e a dissipação devido à resistência ao arrasto. Estes fatores irão depender de toda a estrutura do aerogerador, como o tamanho, diâmetro e forma da turbina e das fundações (GUIMARÃES, 2020).

- **Impacto Visual e Paisagístico**

As instalações dos aerogeradores em distâncias próximas à costa podem causar certo desconforto, principalmente para a comunidade local. Uma vez que, deve – se levar em consideração a opinião dos mesmos no momento da tomada de decisão da emissão do licenciamento prévio, através da apresentação do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA).

- **Impactos à Fauna**

É comum que algumas atividades tenham impactos sobre a fauna dependendo da região em que são instaladas. Nos empreendimentos offshore também ocorrem e as localizações dos CEOs influenciam diretamente em relação aos habitats, na migração de peixes e outras espécies e até mesmo na cadeia alimentar. Aves migratórias podem colidir com as pás, em épocas de desovas.

Destaca – se da mesma forma as luzes dos parques, que a noite podem levar às aves e animais marinhos a desorientação, assim como, atrair outras espécies voadoras, como por exemplo, mosquitos e morcegos. Em seu estudo Guimarães (2020) comenta que, há impactos negativos ocasionados pelos complexos offshore que podem trazer beneficiamento para algumas espécies em relação a outras. A instalação das turbinas e o processo de cabeamento podem impactar as comunidades bentônicas e provocar morte de organismos menores. Entretanto, cita como fatores positivos o efeito de abrigos e a criação de recifes naturais, da

mesma forma que, contribui para o aparecimento de outras espécies, devido à proibição de pesca próxima aos parques. Em relação às tartarugas, a autora cita que as cordas e os cabos utilizados podem acarretar no afogamento ou no emaranhado dos animais, porém reforça que ainda não há estudos aprofundados relacionados a este tema. Todavia, traz como ponto positivo, que os complexos podem servir como morada para águas vivas, atraindo assim mais tartarugas. Para animais de pequeno porte como focas e outras espécies há poucas chances de colisão, já para animais como baleias de médio porte, o risco é um pouco maior devido à falta de capacidade de manobra.

- **Impactos Socioeconômicos**

Para a compreensão dos impactos socioeconômicos de um determinado local que tenha um projeto offshore é necessário compreender como é a população que será afetada direta ou indiretamente. Os CEOs apresentam grande impacto para a atividade turística, pesqueira e de navegação. Entretanto, compreender que há impactos positivos na economia local é importante no momento de apresentar um EIA/RIMA.

Saber como funcionam essas atividades de pesca, turismo e navegação facilitam as tomadas de decisões sobre o melhor ponto de instalação do CEOs. As atividades de pesca podem sofrer grandes consequências devido à instalação do parque, principalmente na quantidade que é pescada. A instalação pode prejudicar também atividades náuticos/esportivos, além de próxima a costa, por estar visível, não ser aceita pela população local, pois, considera – se o apego emocional dos moradores, seja por questões pessoais, culturais ou até mesmo históricas. Assim como, pode haver a diminuição no interesse pela paisagem natural pelo turismo e a desvalorização de imóveis (XAVIER, 2022).

- **Impactos na água**

Outra possibilidade que é muito comum em atividades marítimas é o derrame de óleo através das embarcações, tanto para pesca, como para as atividades offshore. Nesta situação, o que acarreta no derramamento destas substâncias é o transporte dos equipamentos nas fases de instalação, manutenção e descomissionamento. Considera – se também que, as instalações dos cabos ocasionam o aumento da turbidez.

A presença da turbina pode ocasionar sombras na água, o que tem influência direta na concentração de oxigênio e clorofila, interferindo na presença de plânctons e matéria orgânica.

4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho para analisar a viabilidade do complexo eólico offshore foi a ferramenta Furow. Este software realiza a avaliação dos recursos eólicos, o rendimento energético, as incertezas e as conformidades do local escolhido.

4.1 Sobre a ferramenta Furow

Furow é um software que teve o seu desenvolvimento por Engenheiros da empresa SOLUTE, localizada em Madri, na Espanha e que faz parte de um projeto desenvolvido pela empresa chamado ETSWIND. Para o desenvolvimento da ferramenta também houve o incentivo do Centro para o Desenvolvimento Técnico Industrial (DCTI), também localizado em Madri.

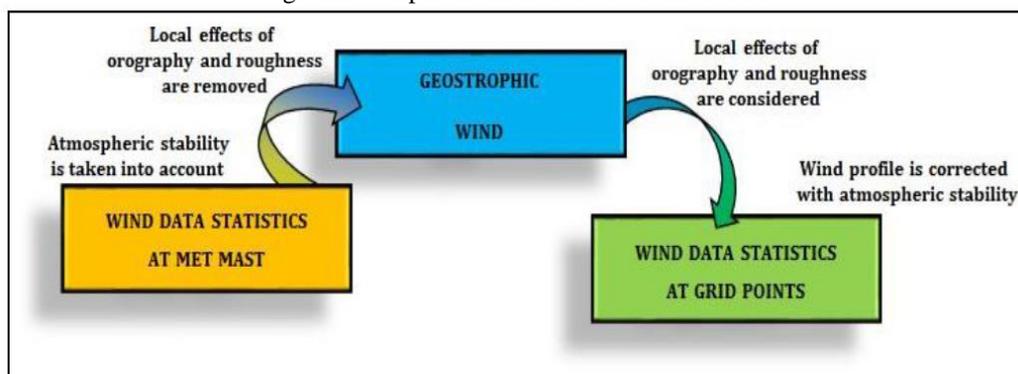
Para realizar a análise do recurso eólico de um local o software trabalha com um modelo físico que baseia – se no código UPMORO - código para estudar os efeitos da orografia e rugosidade. Este código determina que para cada inclinação em volta do ponto de interesse, haverá diferentes fatores de aceleração e com isso o campo de fluxo de vento é dividido em três camadas, sendo ela superior, intermediária e interior, também considera o comprimento da rugosidade (MAGDALENA et al., 2016, p. 4). Para a melhor compreensão o cálculo apresenta as três fases abaixo:

- 1) A rugosidade e a orográfica da área estudada, a partir das velocidades e direções dos ventos, são consideradas como se estivessem em um terreno limpo, ou seja, são removidas.
- 2) O terreno plano é então derivado pela lei de arrasto geostrófico, resultando no vento geostrófico, o qual é considerado invariante na área de estudo.

3) Após, a velocidade e a direção do vento podem ser calculadas em qualquer ponto de interesse, adicionando a rugosidade e a orografia deste local, assim como fatores climatológicos.

Na Figura 10 é possível analisar como a ferramenta funciona detalhadamente.

Figura 8 - Etapas de cálculo ferramenta Furow.



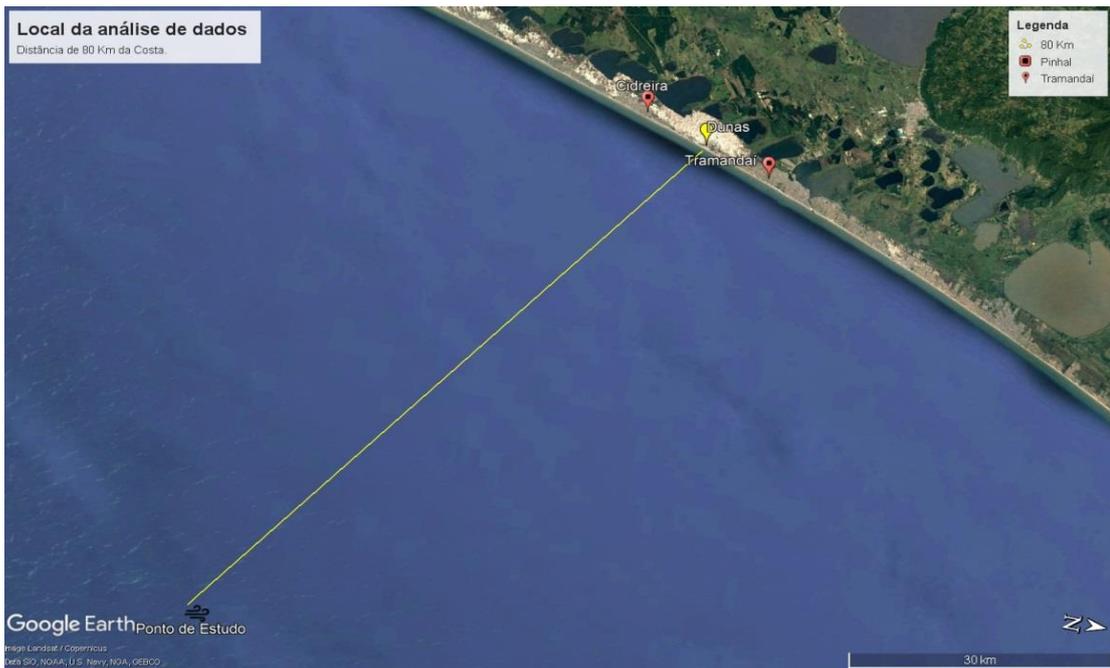
Fonte: MAGDALENA et al., 2016, p. 4.

A ferramenta traz consigo a análise completa que um parque eólico tanto onshore quanto offshore exige, além de incluir bases de dados meteorológicos como ERA I, ERA 5, MERRA e MERRA 2. Ainda faz a análise e descreve a distribuição do vento e seus perfis em diversas alturas para um ponto determinado, bem como, o comportamento de outras variáveis. Estima a produção de energia eólica incluindo as perdas por esteiras, cálculos de ruído, oscilação de sombras e entre outras funcionalidades (FUROW, 2022). Algumas dessas funcionalidades não serão abordadas neste trabalho, devido ao grau de complexidade do software.

4.2 Área de Estudo

O ponto de estudo selecionado para a análise de dados de vento está localizado em frente às dunas que ligam os municípios de Tramandaí e Cidreira (Figura 11), com uma extensão de aproximadamente 15 km em direção à praia de Tramandaí, Figura 12.

Figura 9 – Dunas que ligam os municípios de Tramandaí e Cidreira.



Fonte: Própria da Autora.

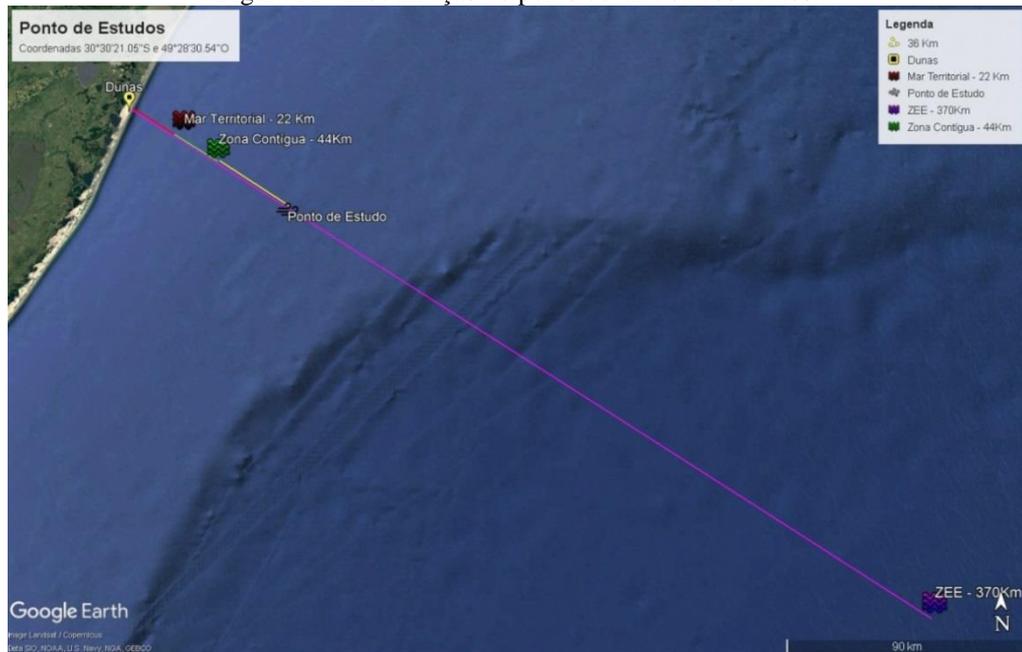
Figura 10 – Extensão da área de estudo vista em terra, 15 Km em direção a Tramandaí.



Fonte: Própria da Autora.

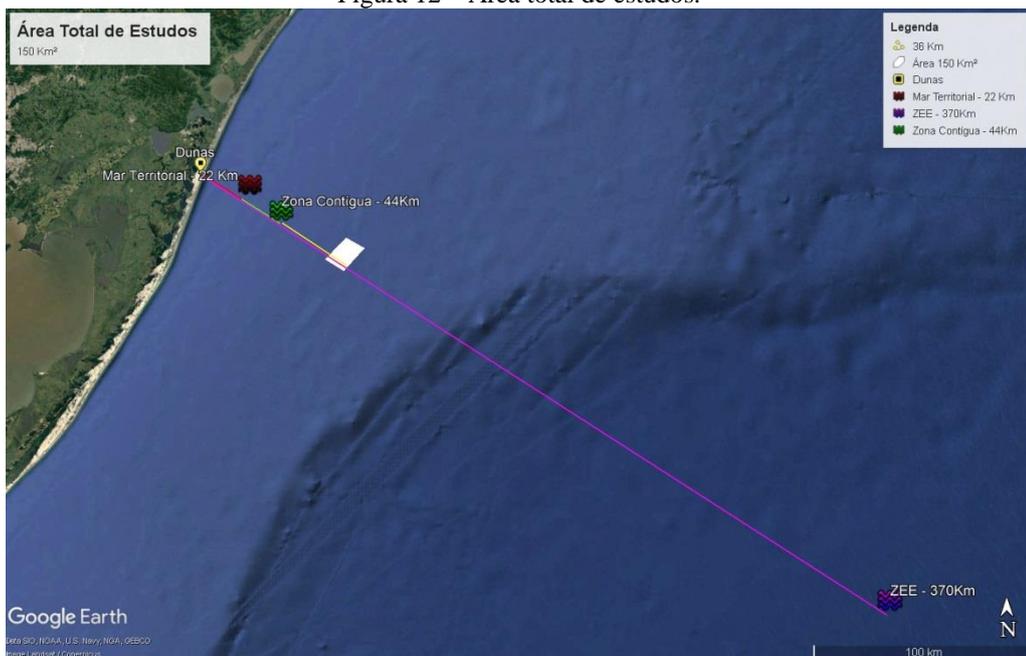
O ponto para realizar a análise dos ventos fica na coordenada 30°30'21.05''S e 49°28'30.54''O e está a 80 km da costa, 36 km da Zona Contígua, adentrando a Zona Econômica Exclusiva Brasileira (Figura 13). A área total estudada apresenta 10 km de comprimento com 15 km de extensão, com um tamanho de 150 km² (Figura 14).

Figura 11 – Localização do ponto de análise dos ventos.



Fonte: Própria da Autora.

Figura 12 – Área total de estudos.



Fonte: Própria da Autora.

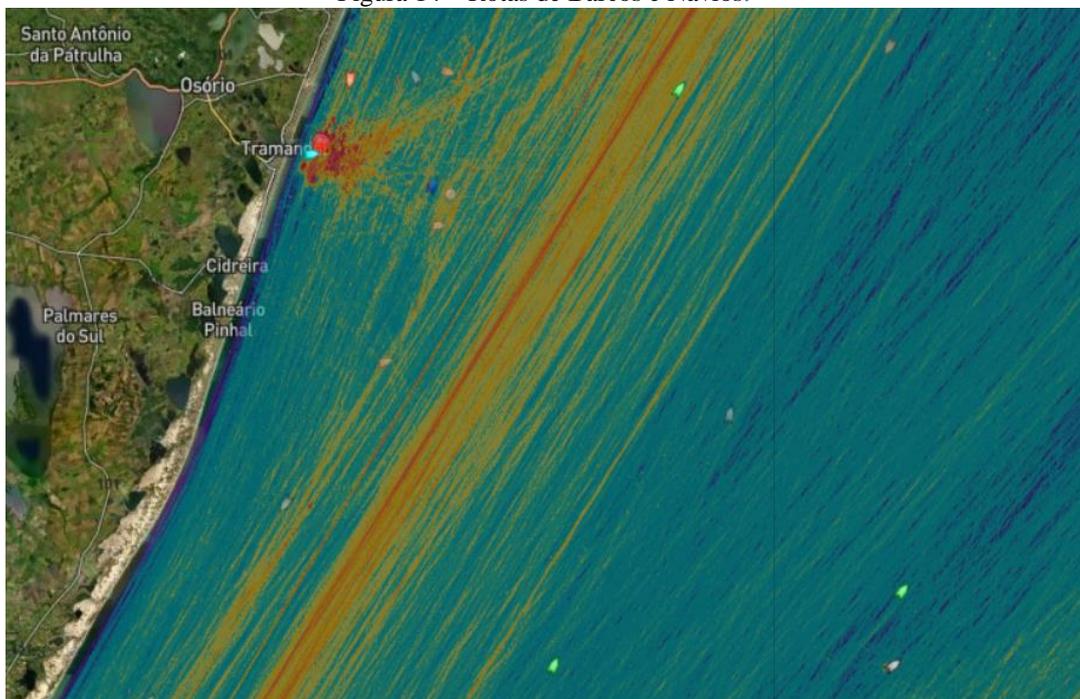
Há vários fatores que determinaram a escolha deste local em frente às dunas, entre eles o fato não apresentar moradias próximas à via, a via ser de fácil acesso e ser próximo ao Parque Eólico de Tramandaí (Figura 15), o que facilita o acesso de integração com a rede elétrica; além de haver um baixo fluxo de rotas de barcos e navios, conforme apresentado na Figura 16.

Figura 13 – Localização do Parque Eólico de Tramandaí e via de acesso RS-786.



Fonte: Própria da Autora.

Figura 14 – Rotas de Barcos e Navios.



Fonte: Marine Traffic (2023).

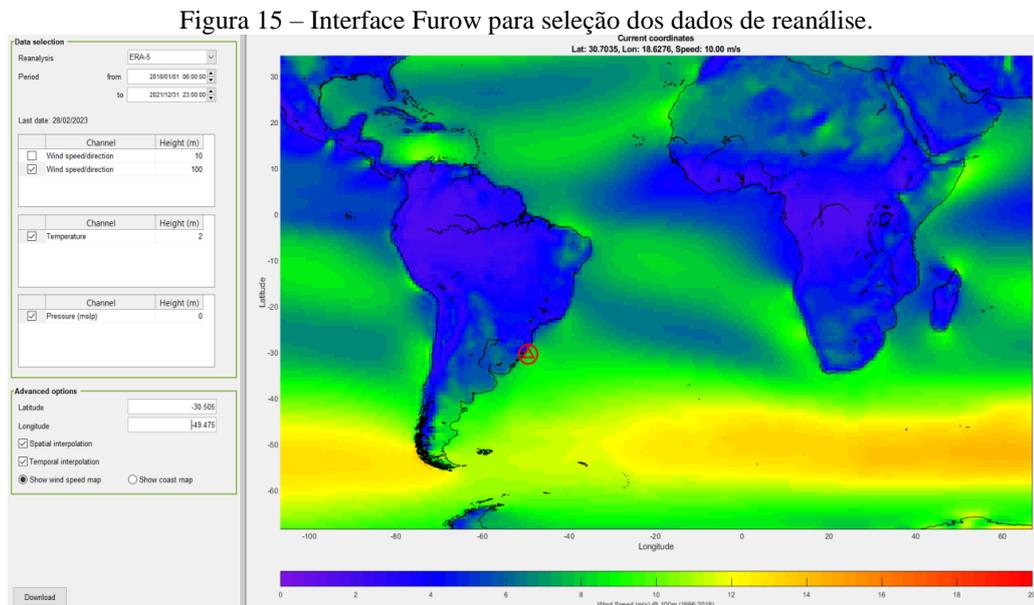
4.3 Análise do Vento

Os dados foram extraídos diretamente do software através da base de dados de reanálise do clima ERA5, fornecidos pela European Center for Medium Range Forecasting – ECMWF. Foram escolhidos a partir das coordenadas do ponto desejado: o período, as horas, a altura do vento, a pressão e a temperatura. Estes dados podem ser vistos na Tabela 1 e na Figura 17 a interface que o software apresenta. A escala de cores na interface demonstra a velocidade média dos ventos ao longo do globo.

Tabela 1- Dados de reanálise de clima ERA5.

Dados ERA5.	
Altura (m)	100
Latitude	-30.505
Longitude	-49.475
Período	01/01/2018 à 31/12/2021
Horário (h)	06 AM até 23 PM

Fonte: Própria da Autora.



Fonte: Furow.

4.4 Seleção da Turbina

Para realizar a escolha da turbina ideal é necessário levar em consideração alguns aspectos para que sejam viáveis quando relacionados não só com o local, mas também com o valor a ser investido. Os aspectos mais importantes são o diâmetro do rotor, a capacidade nominal, a curva de potência, sua comercialização e a assistência próxima à região a serem implementadas (TRAPP, 2009).

A escolha da turbina neste trabalho se deu, sobretudo porque os fabricantes estão no mercado brasileiro e o aerogerador é um modelo fabricado para parques onshore e offshore. Abaixo na Tabela 2 é possível ver suas especificações e na Figura 18, o modelo instalado em terra (onshore).

Tabela 2 - Especificações da turbina Gamesa 128 5 MW Classe IB Offshore.

Turbina Gamesa 128 5 MW Classe IB Offshore	
Potência nominal (MW)	5
Diâmetro do rotor (m)	128
Altura da torre (m)	94
Nº de lâminas	3

Fonte: Wind Turbine Models.

Figura 16 – Turbina Gamesa 128 5 MW Classe IB.



Fonte: Wind Turbine Models - Aguimes, Las Palmas/Espanha.

4.5 Recurso Eólico

Além de realizar toda a análise do vento local, a ferramenta Furow estima o recurso eólico do sítio desejado, ou seja, obtém-se a partir dos dados de reanálise, a velocidade média do vento, a turbulência, a frequência e entre outros parâmetros. Para obter o recurso eólico do local estudado é necessário também, considerar a rugosidade, a elevação e a batimetria. Para este trabalho considerou – se uma rugosidade pequena de 0,0001, uma vez que, trata – se de uma região oceânica. E uma elevação nula, por considerar o estudo ao nível do mar. A batimetria teve seu valor máximo a partir da elevação ao nível do mar, sendo considerado seu mínimo igual a 0 (zero) e seu máximo de 1.580 metros. A batimetria pode ser adquirida no próprio software, que após a seleção da área desejada, apresenta os valores de profundidades máximas e mínimas. A Tabela 3 apresenta estes valores.

Tabela 3 - Valores atribuídos e calculados pela ferramenta.

Dados para o recurso eólico	
Elevação (m)	0
Rugosidade	0,0001
Batimetria (m)	Mín.:0 Mín.: 1.580

Fonte: Própria da Autora.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

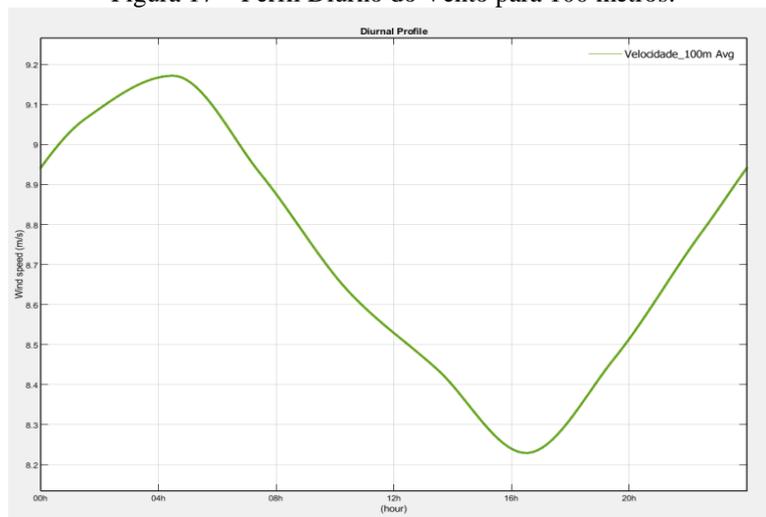
A seguir foram apresentados os resultados obtidos através da ferramenta Furow para a análise do potencial eólico da área estuda e a implementação do complexo eólico offshore na área desejada.

5.1 Velocidade do Vento

A partir dos dados de reanálise pode – se observar como é o comportamento do vento no local estudado. Foram gerados dois perfis de comportamento do vento, um perfil ao longo

do dia e um perfil anual, sendo os dois para a altura de 100 metros. Percebe – se que, no perfil diurno o vento apresenta seu maior pico a partir das 4 horas da manhã, com uma velocidade média de 9,18 m/s, decaindo até chegar à sua menor velocidade de 8,23 m/s às 16 horas e em seguida segue crescendo, Figura 19.

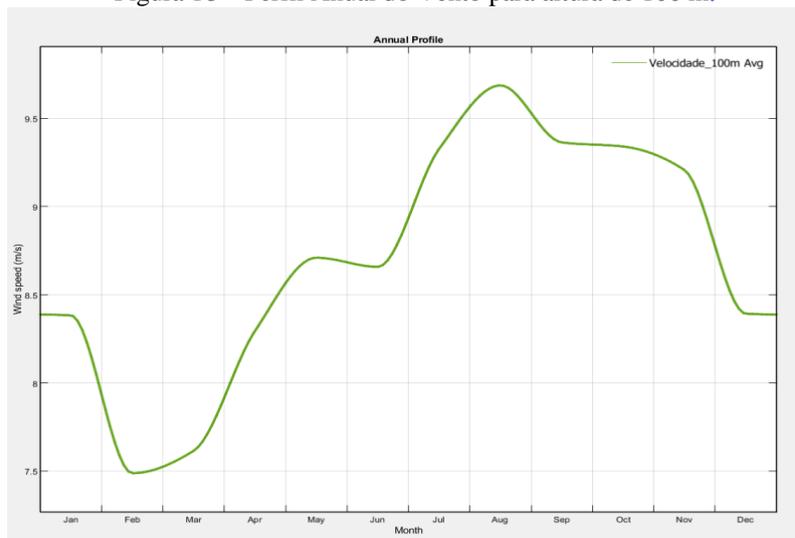
Figura 17 – Perfil Diurno do Vento para 100 metros.



Fonte: Própria da Autora.

Ao analisar o perfil do vento durante o período estudado de 1/1/2018 a 31/12/2021, é notável que, nos meses de fevereiro a velocidade média é próxima de 7,5 m/s seguida de um aumento até o mês de maio com velocidade de aproximadamente 8,54 m/s e crescendo até ter seu pico no mês de agosto com velocidade média de 9,55 m/s e em seguida apresentando um decréscimo até se manter constante entre os meses de dezembro e janeiro com velocidade em torno de 8,46 m/s, Figura 20.

Figura 18 – Perfil Anual do Vento para altura de 100 m.



Fonte: Própria da Autora.

5.2 Frequência

Para fazer uma análise mais detalhada da frequência da velocidade do vento no local estudado para a altura de 100 m, foi realizada uma análise trimestral ao longo do ano, Figura 21 Esta distribuição da velocidade é ajustada pela distribuição de Weibull (1), que estima a frequência para cada velocidade no período de análise.

$$f(v) = f_a^k \left(\frac{v}{a}\right)^{k-1} e^{-1\left(\frac{v}{a}\right)^k} \quad (1)$$

Onde:

f = Frequência de Weibull

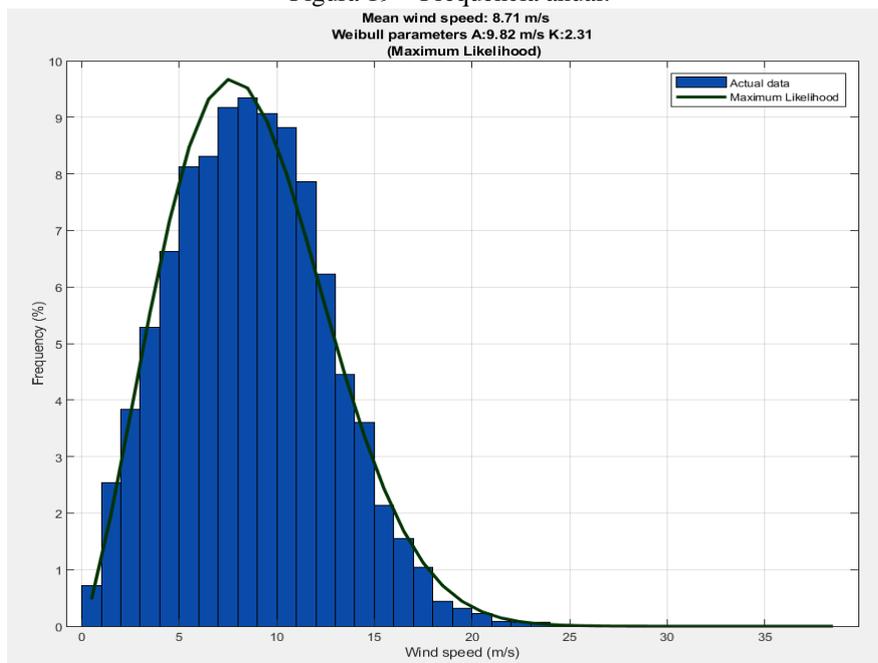
v = Velocidade média (m/s)

k = Parâmetro de forma, movimentado o pico da função

a = Parâmetro de escala, ajusta a magnitude da função

É possível verificar a frequência anual do vento, o qual apresenta velocidade média entre 8 m/s a 9 m/s e uma frequência aproximadamente 9% com um fator k de 2.31 e fator de escala igual a 9.82 m/s (Figura 21).

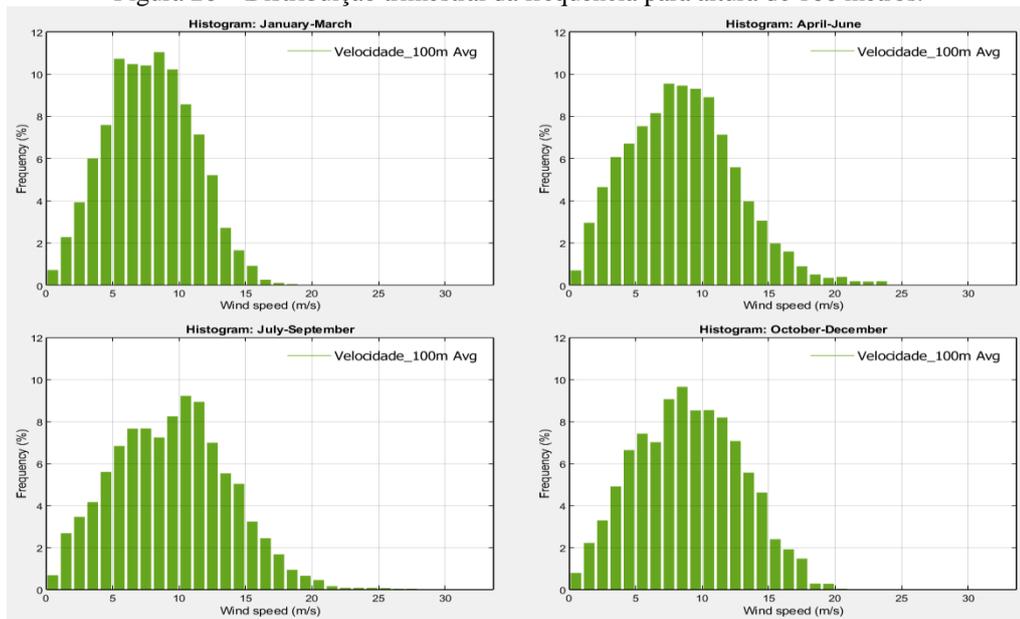
Figura 19 – Frequência anual.



Fonte: Própria da Autora.

Conforme apresentado nos gráficos, nos meses de janeiro a março, o vento apresenta uma frequência de 10 a 11% de velocidades próximas a 7,5 m/s, entre abril e junho em torno de 9% para velocidades entre 7 m/s a 9 m/s. Nos meses de julho a setembro, também próximas a 9% com velocidade média entre 10 a 11 m/s. E para os meses de outubro e dezembro, com frequências 9 e 9,8 % e velocidade média entre 8,5 m/s, Figura 22.

Figura 20 – Distribuição trimestral da frequência para altura de 100 metros.



Fonte: Própria da Autora.

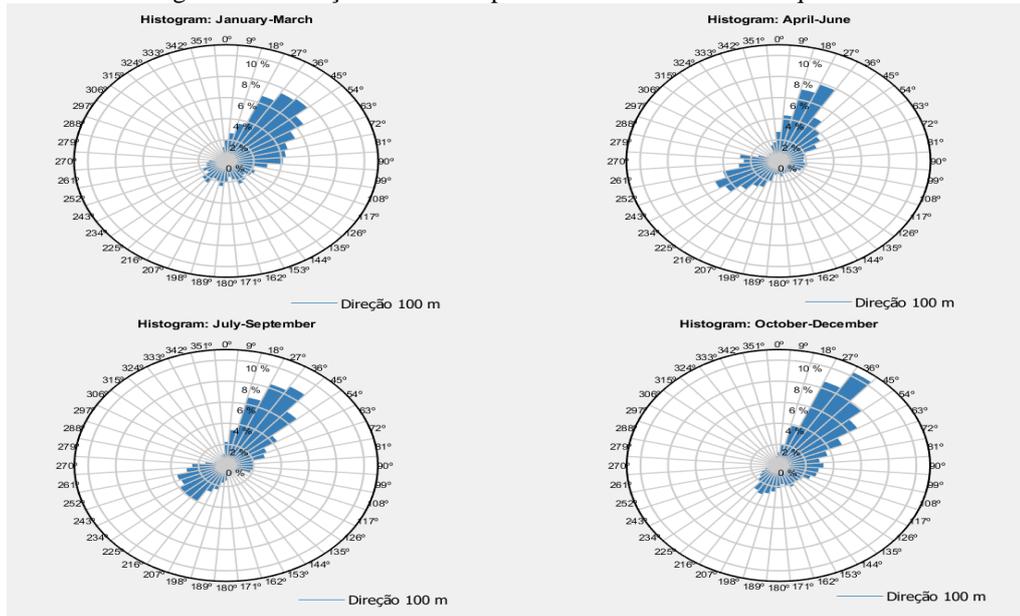
Mesmo a região Sul sendo representada por variados eventos climáticos, há pouca variação nas direções dos ventos, sendo predominantes os ventos vindos do nordeste e sudeste ao longo do ano.

5.3 Direções do Vento

Baseado na frequência do vento e velocidade, similarmente é possível identificar sua direção. Além disso, o estudo realizado observou a direção do vento trimestralmente ao longo do ano.

É possível notar pela Figura 23 que, nos meses de janeiro a março o vento tem direção predominante vindo do nordeste se estendendo até Leste. De abril até junho ocorre uma variação, a direção é frequente do nordeste, porém com ventos vindos do sudeste. De julho a setembro há pouca variação, mas ainda predomina – se os ventos vindos do nordeste. De outubro a dezembro há grande predominância de ventos vindos do nordeste.

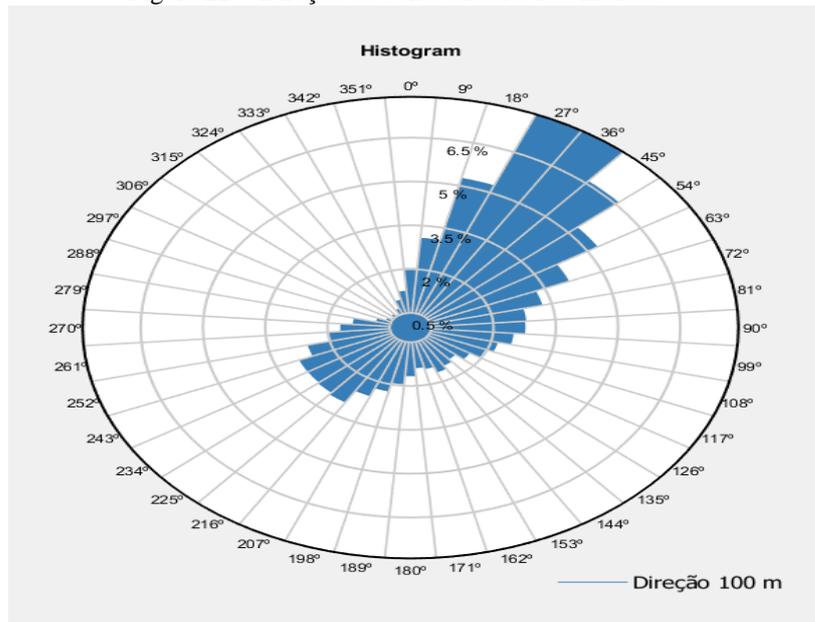
Figura 21 – Direção do vento a partir da velocidade e da frequência.



Fonte: Própria da Autora.

Fazendo uma análise anual neste período de quatro anos estudados é perceptível que ao longo do ano os ventos são de direção nordeste, apresentando uma pequena parcela vinda do sudeste, Figura 24.

Figura 22 – Direção do vento anual a 100 metros.



Fonte: Própria da Autora.

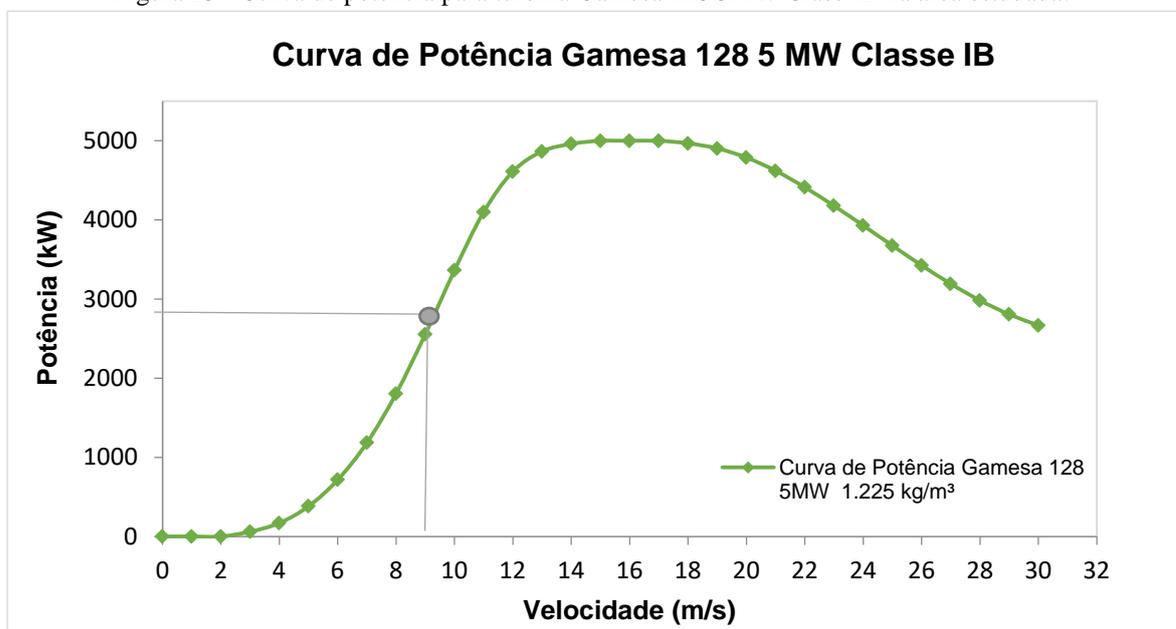
Mesmo a região Sul sendo representada por variados eventos climáticos, há pouca variação nas direções dos ventos, sendo predominantes os ventos vindos do nordeste e sudeste ao longo do ano.

5.4 Implantação do Parque

5.4.1 Arogerador

Para a avaliação de um complexo eólico offshore na área, usou-se a turbina Gamesa 128 5MW Classe IB Offshore. Esta escolha está baseada devido os fabricantes estarem no mercado brasileiro. Esta turbina, como citado tem um diâmetro de rotor de 128 metros e uma potência nominal de 5 MW. Abaixo, na Figura 25 está a curva de potência para a turbina, considerando a densidade do ar padrão de $1,225 \text{ kg/m}^3$. Nota-se que, para a velocidade média no local que é de 8,5 a 9 m/s, dependendo do mês, a potência gerada pela turbina na área é em torno de 2.800 kW.

Figura 23 - Curva de potência para turbina Gamesa 128 5MW Classe IB na área estudada.

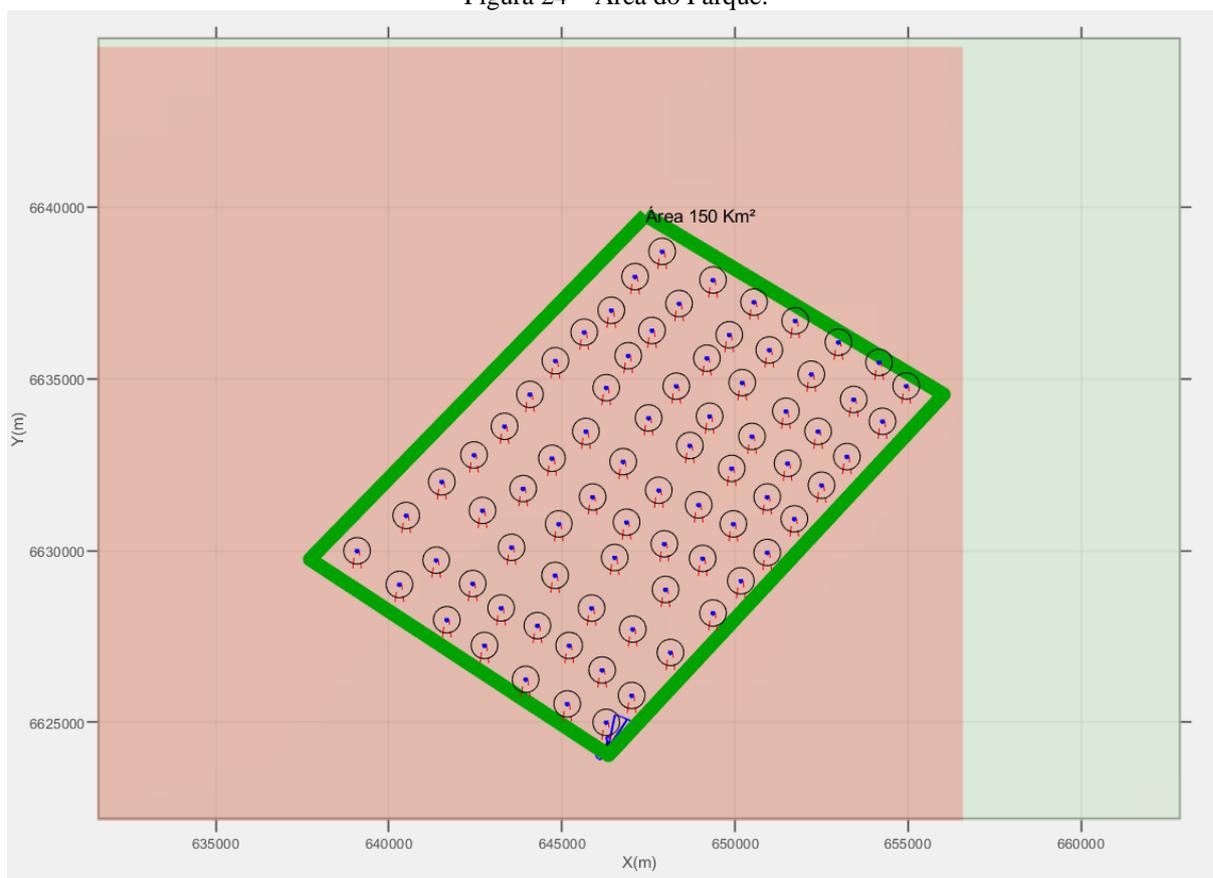


Fonte: Própria da Autora.

5.4.2 Layout do Complexo Eólico Offshore

O complexo eólico tem 77 turbinas da Gamesa 128 5 MW Classe IB com uma torre de 94 metros. É importante salientar que neste trabalho a distância de um aerogerador a outro considerada é de 1.280 metros, como fator de segurança. Na figura 26 é possível ver a área do parque.

Figura 24 – Área do Parque.



Fonte: Própria da Autora.

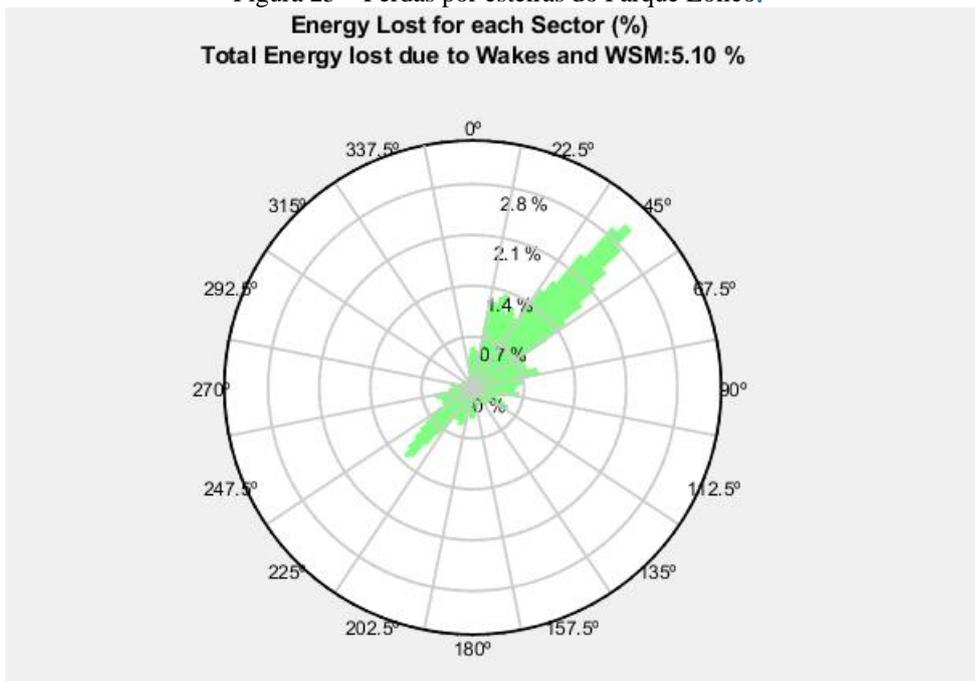
Evidencia - se que, as posições das turbinas podem ser feitas manualmente e neste trabalho deve - se desconsiderar a distância vista na imagem, pois foi escolha desta autora fazer manualmente, sendo a imagem meramente ilustrativa; levando - se apenas em consideração a base de cálculo utilizada.

5.5 Avaliação do Rendimento Energético

5.5.1 Perdas de Energia

Para projetar um parque eólico é necessário compreender que haverá algumas perdas, o software Furow utiliza em sua base de cálculo o modelo Eddy Viscosity. Este cálculo não será tratado neste trabalho, mas conforme a ferramenta explica em seu manual, o cálculo é realizado para 180 setores a cada 5 graus e calcula as perdas por esteiras e por gestão de funcionamento por direção (wind sector management -WSM). Também, considera o número de horas de 8766, incluindo anos bisextos. O cálculo das perdas contribui para obter uma produção de energia líquida. Os resultados para este parque podem ser visto na Figura 27 gerada pelo software que apresentou uma perda total de 5,10% por setor.

Figura 25 – Perdas por esteiras do Parque Eólico.



Fonte: Própria da Autora.

5.5.2 Produção de Energia Anual

Considerando as perdas, é possível verificar a produção do complexo eólico. Foi calculada uma produção de energia anual de 1.504,76 GWh/ano, com um fator de capacidade

líquido de 44,58%. O software utiliza como média 20 anos de operação. No Quadro 4 é possível verificar a estimativa de produção.

Tabela 4 - Estimativa de produção para o Complexo Eólico Offshore.

Produção do Complexo Eólico	
Capacidade do Complexo Eólico [MW]	385
Números de Turbinas (-)	77
Rendimento Bruto [GWh/ano]	1.585,69
Fator de Capacidade Líquida (%)	44,58
Rendimento Líquido [GWh/ano]	1.504,76
Perdas por esteiras e WSM [%]	5,10
Velocidade média do vento à 100 m [m/s]	8,71

Fonte: Própria da Autora.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Conforme o estudo avaliativo, a implantação de um complexo eólico offshore no litoral norte do Rio Grande do Sul demonstrou que é viável e o Estado se mostra apto para receber este tipo de atividade.

O estudo trouxe a compreensão acerca dos impactos ambientais deste tipo de atividade, contribuindo para a orientação e avaliação dos principais pontos em que se deve dar atenção e um cuidado maior.

Os resultados apresentados demonstraram que a região apresenta ótimas velocidades de vento ao longo do ano, porém percebe – se que nos meses de verão entre janeiro a março, analisando juntamente com o perfil diurno, é possível concluir que nos horários da madrugada a produção tende a ser maior, devido as maiores velocidades.

Recomenda – se o estudo aprofundado sobre a fauna a distâncias mais significativas da costa. Bem como, estudos em relação ao meio socioeconômico, pois a região apresenta pesca.

Outro fator que deve ser mencionado é à distância para este estudo. Esta decisão foi tomada devido a grande parte dos empreendimentos que estão sob os cuidados do IBAMA estarem próximos uns aos outros, o que ficaria inviável dar o licenciamento a todos os empreendimentos, por questões ambientais. Fazer os estudos a 80 km da costa garante a não visibilidade dos aerogeradores, não interfere na pesca e na navegação, conforme visto no Marine Traffic . Contudo, pode haver um maior gasto com os tipos de fundações a serem

utilizadas, com os cabos e até mesmo a necessidade de uma subestação. Porém, construir o parque o mais distante possível da costa, diminui as chances de qualquer tipo de inviabilidade, mas, reforça – se o estudo da fauna a longas distâncias.

Avaliando com as problemáticas trazidas no início deste trabalho, o presente estudo mostrar que além de viável este tipo de empreendimento no litoral do Estado, também contribui não só com o desenvolvimento de uma região, mas traz benefícios para o setor energético, para a população, visando juntamente à busca pela mudança da matriz energética para um futuro próximo e alternativas que causam o menor impacto negativo ao meio ambiente.

O resultado apresentado é um parque eólico offshore cobrindo uma área de 150 Km² com um total de 171,66 MW a serem inseridos no sistema interligado. O posicionamento das 77 turbinas pode ser reajustado para resultar em um fator de capacidade melhor e com isso, gerando uma maior produção. Recomenda – se realizar o estudo do potencial com outros tipos de turbinas para comparação do potencial líquido gerado, assim como, estudos relacionados aos custos deste tipo de atividade e também pesquisas para analisar a viabilidade de complementariedade com outras atividades de fonte renováveis.

7 REFERÊNCIAS

RIO GRANDE DO SUL. CAMARGO SCHUBERT. (org.). **Atlas do Potencial Eólico: Rio Grande do Sul**. 2014. Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/atlas-eolico-do-rs>. Acesso em: 11 nov. 2022.

BARBOSA, Robson. **Inserção da energia eólica offshore no Brasil: análise de princípios e experiências regulatórias**. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.106.2019.tde-10042019-150844>. Acesso em: 21 mar. 2023.

BIAVATI, Ariel. **Estudo do comportamento do vento e da viabilidade técnica de instalação de aerogeradores nas dependências da UFFS-Campus Erechim**. 2017.

BRASIL. MARINHA DO BRASIL. . **Plano de Levantamento da Plataforma Continental Brasileira**. 1993. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/secirm/pt-br/leplac>. Acesso em: 10 dez. 2022.

BRASIL. PODER EXECUTIVO. . **DECRETO Nº 10.946 DE 25 DE JANEIRO DE 2022**. 2022. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=601&pagina=1&data=25/01/2022&totalArquivos=2>. Acesso em: 23 mar. 2023.

BRASIL. Rogério Antônio da Silva Matos. Empresa de Pesquisa Energética (org.). **Balanco Energético Nacional. 2021**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2022.

BUGONI, Leandro et al. 8. **Eólicas offshore no Brasil: potenciais impactos, recomendações para o licenciamento e implicações para a conservação das aves marinhas e costeiras**. In: Relatório de rotas e áreas de concentração de aves migratórias no Brasil. CEMAVE/ICMBIO Cabedelo, 2022.

DUTRA, Ricardo. **Energia Eólica: princípios e tecnologia**. 2008. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_eolica_2008_e-book.pdf.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE (Brasil). **Roadmap Eólica Offshore Brasil**. 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao456/Roadmap_Eolica_Offshore_EPE_ve rsao_R2.pdf. Acesso em: 15 dez. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasília). Ministério de Minas e Energia (org.). **Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050**. 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>.

GALLON, Guilherme Pasqualli. **Análise numérica da influência das características do vento em diferentes regiões do Brasil no desempenho aerodinâmico e potência média de um aerogerador**. 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/215315>. Acesso em: 22 mar. 2023.

GAMESA. **Gamesa 5.0 MW**. 2014. Disponível em: <https://d3pcsg2wj9izr.cloudfront.net/files/25679/download/446231/catalogo-g10x-45mw-eng.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2023.

GLOBAL WIND ENERGY (Belgium). **Global Offshore Wind Report 2022**. 2022. Disponível em: https://gwec.net/wp-content/uploads/2022/06/GWEC-Offshore-2022_update.pdf. Acesso em: 21 mar. 2023.

GONÇALVES, Paula Silva et al. **Estudo preliminar da seleção de locais para instalação de parques eólicos offshore no litoral do Rio Grande do Sul**. Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia, v. 8, n. 1, p. 48-58, 2022.

GUIMARÃES, Bruna Silveira. **O Licenciamento Ambiental de Empreendimentos Eólicos Offshore: Histórico Mundial e Diretrizes Para o Brasil**. 2020. Disponível em:

<http://www.ppe.ufrj.br/images/BrunaGuimar%C3%A3es-Mestrado.pdf>. Acesso em: 5 jan. 2023.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Ibama lança Termo de Referência padrão para Complexos de Energia Eólica Offshore**. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br>. Acesso em: 21 dez. 2022.

LEITE, Alexandre César Cunha *et al.* **A cooperação multilateral climática e a promoção da agenda da transição energética no Brasil** A cooperação multilateral climática e a promoção da agenda de transição energética no Brasil. 2020. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/70349>. Acesso em: 21 mar. 2023.

LIMA, Lílian Oliveira. **Impactos ambientais de empreendimentos eólicos offshore: proposta de programas para o gerenciamento**. 2021. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

LOSEKANN, Luciano; TAVARES, Felipe Botelho. **Política Energética no BRICS: Desafios da Transição Energética - IPEA**. 2019. Disponível em: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/211446/1/167178071X.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2023.

MAGDALENA, Javier *et al.* **Comparison of the new wind flow model FUROW with WASP and OpenFOAM for different topographic features**.

MARTINS, F.R. *et al.* **O aproveitamento da energia eólica**. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/nL6x7dJv9gjv7HnkTSJRLfS/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 16 dez. 2022.

ODILON A. CAMARGO DO AMARANTE (Brasília). Centro de Pesquisas de Energia Elétrica/Cepel (org.). **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. 2001. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf. Acesso em: 26 dez. 2012.

OLIVEIRA, Milton de. **Estudo estimativo básico para implantação de turbinas eólicas offshore no litoral do estado do Rio Grande do Norte**. 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/24014>. Acesso em: 5 jan. 2023.

ORTIZ, G. P.; KAMPEL, M. **Potencial de Energia Eólica offshore na margem do Brasil**. In: **V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA**, Não use números Romanos ou letras, use somente números Arábicos., 2011, Santos. **Anais [...]** São Paulo: SBO, 2011. p. 1-4. Disponível em: <http://mtc-m16d.sid.inpe.br>. Acesso em: 20 dez. 2022.

PEREIRA, Maurício Vieira da Rocha. **Estudo comparativo entre o potencial eólico e a energia efetivamente gerada para o complexo eólico de Osório**. 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/61984>. Acesso em: 21 mar. 2023.

PINTO, Lucía Iracema Chipponelli; MARTINS, Fernando Ramos; PEREIRA, Enio Bueno. **O mercado brasileiro da energia eólica, impactos sociais e ambientais**. Revista Ambiente & Água, v. 12, p. 1082-1100, 2017.

RAFAEL MONTEIRO DE VASCONCELOS (Brasil). Ibama. **Complexo Eólicos Offshore: estudo sobre a avaliação de impactos**. Estudo sobre a Avaliação de Impactos. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/laf/consultas/mapas-de-projetos-em-licenciamento-complexos-eolicos-offshore>. Acesso em: 5 jan. 2023.

TRAPP, Beatriz Cristina. **Análise de viabilidade de uma fazenda eólica offshore no Rio Grande do Sul**. 2009. 25 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/24094>. Acesso em: 16 mar. 2023.

XAVIER, Thomaz Willian de Figueiredo. **Análise participativa dos potenciais impactos socioambientais de parques eólicos marinhos (offshore) na pesca artesanal no estado do Ceará, Brasil**. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/64683>. Acesso em: 22 dez. 2022.